

Indagación de material con características biodegradables para la retención de partículas menores a 10 micras emitidas por procesos de combustión vehicular

Diana Marcela Bocanegra Higuera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y medio ambiente -ECAPMA

Ingeniería ambiental

Bogotá

2020

Indagación de material con características biodegradables para la retención de partículas menores a 10 micras emitidas por procesos de combustión vehicular

Diana Marcela Bocanegra Higuera

Trabajo Monográfico

Presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director de proyecto

Whendy Dahyanna Tarquino Sánchez

Docente de ECAPMA

Universidad nacional abierta y a distancia - UNAD

Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y medio ambiente -ECAPMA

Ingeniería ambiental

Bogotá

2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien me ha dotado con las capacidades físicas e intelectuales para cumplir con cada reto a lo largo de mi carrera y me ha permitido llegar a este último paso para graduarme como Ingeniera Ambiental. A mis padres quienes sin duda han sido pieza clave en mi crecimiento personal y quienes han aportado principios fundamentales, han hecho de mí una persona capaz de enfrentar los desafíos de la sociedad, sin ellos no hubiese podido terminar de forma satisfactoria esta etapa de aprendizaje y crecimiento profesional.

A todos mis tutores y profesores quienes han acompañado atentamente mi proceso de formación.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, mi familia, amigos, compañeros y profesores de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, quienes me apoyaron en la realización de este proyecto.

A los docentes de la Fuerza Aérea del programa tecnológico gestión de recursos aéreos quienes también estuvieron pendientes y dispuestos a colaborarme con el proyecto.

AT. Bocanegra Higuera Diana Marcela

Tabla de contenido

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
JUSTIFICACIÓN	18
1. GENERALIDADES	21
1.1 Importancia de la contaminación del aire	21
1.2 Clasificación de material particulado	23
1.3 Impactos de la contaminación del aire por PM	27
1.3.1 Impacto económico:	28
1.3.2 Impacto a la Salud	28
1.3.3 Impacto en la vegetación	32
1.3.3.1.1 Cambio climático	34
1.3.4 Impacto paisajístico y urbano	34
2. MATERIALES DE FILTROS PARA LA DE RETENCIÓN DE PM ₁₀ EN COMBUSTION VEHICULAR	36

2.1	Comparación y análisis de características y eficiencias generales de los materiales de retención de partículas.	52
2.1.1.	Análisis de la tabla comparativa de materiales	54
3.	CONCLUSIONES	55
4.	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	58

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de tamaño de partícula	25
Figura 2. Inhalación del (PM)	29
Figura 3. Necrosis en hojas	33
Figura 4. Reducción de la visibilidad paisajística en la ciudad de Bogotá.....	36

Índice de tablas

Tabla 1. Principales gases componentes del aire.....	21
Tabla 2. Contaminantes atmosféricos.....	24
Tabla 3. Tipos de partículas según tamaño.....	26
Tabla 4. Clasificación de partículas según su origen.....	27
Tabla 5. Enfermedades causadas por el asesino invisible ‘‘la polución en el aire’’	32
Tabla 6. Clasificación de filtros por su degradabilidad en el medio ambiente.....	38
Tabla 7. Tipos de materiales de filtros para la retención de partículas.....	40
Tabla 8. Tabla comparativa de materiales.	52

Resumen

El presente trabajo de grado tiene como finalidad la revisión bibliográfica para identificar materiales degradables y no degradables que pueden ser útiles para la retención de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) en procesos de combustión.

Al identificar dichos materiales y sus características se realiza un análisis e interpretación de los resultados obtenidos por medio de una tabla en donde se resume una serie de conclusiones y recomendaciones sobre los materiales, encaminadas a la mejora ambiental solucionando la creciente preocupación que ha surgido actualmente, a causa de la contaminación atmosférica.

La humanidad ha presentado un gran avance tecnológico, los grandes centros urbanos realizan monitoreos continuos para vigilar la naturaleza y magnitud del material particulado, siendo indispensables para establecer medidas de contención y prevención por exceso de material particulado en la atmósfera, por este motivo es necesaria la utilización de diferentes métodos y materiales para captar parte del material particulado expuesto en el aire y así mismo aumentar la calidad de vida de la población .

Abstract

The particulate matter (PM) is an air pollutant of highest concern due to its concentration trend in recent decades. This project aimed to review the literature to identify degradable and non-degradable materials capable of controlling it. Degradable and non-degradable materials and their characteristics are provided to reach a series of conclusions and recommendations tackle air pollution, solving the growing concern about historic local emissions. Having this in mind, this document intends to be a reference for future research on materials that have effective properties for the retention of particles in the air.

Introducción

Para el año 2018 alrededor del 55,27 % de la población mundial residió dentro de los centros urbanos y en este aspecto Colombia alcanza un total del 81% (Banco Mundial, 2018). Estos centros urbanos son un foco de desarrollo para los países por la industria, manufacturera y otras empresas ubicadas en el interior o cercanías de las ciudades, aunque productivo y beneficioso económicamente trae consigo efectos adversos en el ambiente y la calidad de vida de los habitantes tanto así que la Organización Mundial de la Salud (OMS) reveló en un estudio que la presencia de contaminantes atmosféricos eran los causantes de al menos una de cada nueve muertes (OMS, Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, 2016) señalando el Material Particulado (PM) de 10 micras o menos como el contaminante atmosférico con mayor índice de impacto a la comunidad. La variabilidad del tamaño de las partículas se relaciona directamente con el efecto nocivo al sistema pulmonar, ya que las partículas más finas son las que causan mayor incidencia en la propagación de enfermedades respiratorias, las cuales sumadas al tabaquismo de forma activa o pasiva deterioran de forma progresiva el derecho de vivir dentro de un ambiente sano; el PM al introducirse en la profundidad de los pulmones e incluso alcanzar el torrente sanguíneo y causar otros problemas (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2017).

Una de cada ocho muertes en el mundo está asociada a la mala calidad del aire, sobre todo de grupos vulnerables como niños y ancianos, expuestos al material particulado (PM), (Méndez, Pinto, Galvis, & Pachón, 2017). Según Romero Villalobos, Sarmiento Sanchez, & Rodriguez (2016). en la localidad de Tunjuelito, Bogotá, la mayoría de las enfermedades frecuentes encontradas en el Hospital Tunal son las enfermedades respiratorias tales como la

infección respiratoria aguda (IRA), que presenta una sintomatología especial como: tos frecuente, flema, falta de aliento; encontrando a su vez enfermedades frecuentes como: asma, bronquitis, enfisema y neumonía.

En general el impacto negativo que representa el PM en la salud humana es alto, como puede evidenciarse en los estudios, por tal razón es fundamental realizar diferentes investigaciones que generen información sobre este contaminante y la manera de poder prevenir y controlar la problemática que se está presentando.

Según Rodríguez & Acosta & García Torres (2015), se hace necesario también tener una valoración monetaria de los daños producidos en la salud humana, como por ejemplo la evaluación de un ataque de asma, que debería incluir no solamente los costos del tratamiento médico sino también lo que se paga por evitar los daños psicológicos que conlleva.

A nivel global el PM no solamente se produce por la combustión de materiales; el desierto del Sahara genera cierta cantidad de material que se transporta a través de las corrientes de viento a miles de kilómetros de distancia, según la investigación de Méndez, Pinto, & Belalcázar, Estudio de una Intrusión de Polvo Sahariano, (2017). Por lo que alrededor del 60% de las emisiones minerales naturales se generan en el desierto del Sahara. (2018).

Así partiendo de los resultados obtenidos en el estudio de la Universidad Javeriana el aumento de la flota vehicular y la población, acrecientan las concentraciones de partículas; esto hace necesario el crear estrategias a mediano y largo plazo que reduzcan la concentración del material particulado. (Alfonso Corredor, 2018), teniendo en cuenta este estudio, el transporte público aporta el 50% de las emisiones totales de material particulado, por lo que se hace

necesario que la tecnología de los vehículos sea de última generación por medio de energías sostenibles.

Varios estudios han señalado a las emisiones vehiculares como una de las principales fuentes de deterioro de la calidad del aire. Según el Informe Bogotá Región Calidad del Aire de la (Alcaldía de Bogotá, 2018) el material particulado es el primer contaminante de la ciudad; el Instituto Nacional de Salud (INS) dictaminó que el 58% de las emisiones de (PM_{10}) en Bogotá proviene de vehículos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2014). Adicionalmente se puede evidenciar en el documento técnico de la Línea de Intervención Aire, Ruido y Radiación Electromagnética (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011-2023); la contaminación se presenta principalmente por las altas concentraciones y excedencias en PM_{10} de acuerdo con los registros de los SVCA, ya que superan el valor recomendado por la OMS (Planeación, 2018).

A nivel nacional el PM, se ha generado contaminación por PM debido a fuentes no combustibles, como lo es el polvo del Sahara, que afecta directamente la calidad del aire a miles de km, como paso en el mes de junio de 2014 en las ciudades de Bogotá y Medellín, fue la primera vez que se registró polvo africano en el aire de grandes ciudades. (Mendez, Pinto, & Belalcázar, Study of a Saharan Dust Intrusion into the Colombian Atmosphere, 2018).

A nivel regional el impacto producido por la quema de biomasa es sustancial en la calidad del aire y el clima; la amazonia ha sido uno de los mayores contribuyentes a los contaminantes de corta duración. (Mendez, Belalcázar, & Betancourt, 2019), estas emisiones de biomasa deterioran la salud humana, existiendo una relación directa entre grandes cantidades de biomasa quemada y mayor concentración de PM_{10} (Mendez, Belalcázar, & Betancourt, 2019).

Este tipo de impactos traen consecuencias positivas y/o negativas, en este caso la cuenca amazónica se ve beneficiada, ya que el polvo contiene fosforo y contribuye a los ciclos biogeoquímicos y crecimiento de árboles endémicos, igualmente afecta la visibilidad del tránsito aéreo, aumento de la temperatura atmosférica . (Mendez, Pinto, & Belalcazar, Study of a Saharan Dust Intrusion into the Colombian Atmosphere, 2018)

Según lo argumentado por Ferran (2005) los contaminantes atmosféricos han contribuido al cambio climático. Las fuentes móviles se caracterizan por ser aquellas provenientes de la combustión interna de combustible fósil para el movimiento de cualquier tipo de vehículo o transporte (OMS, 2018) y fuentes fijas las cuales son generalmente industrias de trabajo continuo y empresas de transformación de insumos (Ambientales., 2018), teniendo en cuenta que la mayor contribución de contaminación atmosférica dentro de las ciudades es causada por los automóviles debido a su densidad en aumento y el uso continuo por parte de la población, así mismo, se han incrementado algunas enfermedades pulmonares similares o iguales a las provocadas por el tabaco (Tapia Granados, 1998).

En las últimas décadas con el incremento del PM en las ciudades se han venido implementando estrategias para el control y mitigación de este, donde según el estudio de Barron Adame (2018) se destacan tres puntos para la modelación de un sistema de supervisión de la calidad del aire los cuales son: la clasificación automática en cada una de las estaciones de monitorización de las concentraciones de contaminantes en los niveles de calidad del aire; una representación del nivel de calidad del aire en la ciudad y la determinación automática de posibles episodios de contaminación, aspecto muy importante al clasificar datos de sensores de contaminación que presentan en general cierta inestabilidad, de esta manera se puede evidenciar que en diversas industrias se han tomado medidas contra sus emisiones, un ejemplo claro es el

caso expuesto en la monografía de Ortega Bohórquez (2010), con respecto a plantas trituradoras y de asfalto donde se sugerían medidas de control y mitigación focalizadas en las zonas de producción con medios filtrantes y encapsulación.

Por otra parte, se han estudiado las viabilidades de filtros dentro del sistema de aire acondicionado de los vehículos a razón de proteger a los ocupantes contra el PM que se puede filtrar dentro del sistema, aunque esto ha tenido poco uso por la falta de conocimiento en la existencia de este tipo de filtros, (Enciso Diaz & Rivera Linares, 2017), además las campañas para el uso del transporte público y medios de movilización de energía limpia se han vuelto populares por la densidad del tráfico y el interés de mejorar el estado físico personal (Tapia Granados, 1998).

Según Alfonso, Corredor (2018) se ha avanzado en temas de control de emisiones teniendo en cuenta las normas EURO, donde se incluyen filtros en fuentes móviles, como una forma para reducir la contaminación atmosférica, especialmente en ambientes urbanos.

Se han generado investigaciones en torno a las actividades que pueden reducir PM, los investigadores Méndez, Pinto, Galvis, & Pachón (2017) afirman que la pavimentación parcial, reduce las concentraciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} asociadas a resuspensión, en un 95%, al igual que las asociadas a fuente por combustión y a fuente no definida en más de un 37%.

Así las cosas, a pesar de tener fuentes locales, regionales y globales, la presente monografía se enfoca en fuentes asociadas a procesos de combustión debido a que estudios de la OMS, IARC: Diesel Engine Exhaust Carcinogenic, (2012), afirman que el Gas de Motor Diesel es cancerígeno para humanos, produce cáncer de pulmón y cáncer de vejiga a personas expuestas; existen poblaciones que en la vida cotidiana se ven expuestas; para minimizar este

impacto se han probado nuevas tecnologías y estándares estrictos que se ven reflejados en el motor, y a su vez en porcentajes menores en el contenido de azufre, (OMS, 2012).

Uno de los métodos es la elaboración e instalación de filtros a partir de diferentes materiales. Por lo tanto, la presente monografía plantea hacer una revisión bibliográfica de algunos de los materiales, con características no degradables y biodegradables, que se utilizan comúnmente para retener PM_{10} y contribuir con la mejora de la calidad de vida de la población, siendo un referente para futuras investigaciones sobre materiales con propiedades de retención similares o nuevas.

Objetivos

Objetivo general

Indagar sobre materiales, particularmente con características biodegradables, para la retención de partículas menores a 10 micras emitidas por procesos de combustión vehicular.

Objetivos específicos

- Identificar las principales características de los materiales comúnmente utilizados para la fabricación de filtros de partículas.
- Reconocer materiales biodegradables con el potencial de retener PM₁₀ proveniente de la combustión de fuentes móviles.
- Establecer las condiciones técnicas y económicas que afectan el uso de filtros elaborados con materiales biodegradables.

Justificación

Hoy en día el uso de transporte público y privado se ha vuelto masivo, incluso se ha llegado a la conjetura que en las grandes ciudades se incrementa al menos en un 10% anualmente y hace algunos años en China se alcanzó un incremento del 25% anual de automóviles, esto se debe al crecimiento demográfico y aumento de la demanda de la movilización por parte de la población (Gakenheimer, 1998). El transporte público es una herramienta fundamental para solucionar los problemas de transporte urbano y lograr una ciudad eficiente y equitativa en un vehículo de transporte público, necesitando menos espacio para movilizar varias personas (Pardo, 2009)

Actualmente las grandes ciudades presentan diferentes inconvenientes con respecto al PM el cual provoca un efecto de morbilidad a causa de enfermedades pulmonares y cardiovasculares dependiendo del tiempo, cantidad expuesta para cada persona y composición química, esto se debe a la acumulación del PM en los pulmones acelerando las afecciones bronquiales provocando un efecto en cadena de pérdida de bienestar (Oyarzun, 2010), y a la interferencia de la calidad de vida por causa de los gases emanados de los vehículos, cuyo funcionamiento se enfoca en los combustibles fósiles como son, la gasolina en diferentes grados de octanajes y el diésel (Pérez, 2017), lo que produce emisiones gaseosas de dióxido de azufre de un 5 % (SO_2), dióxido de carbono de 25% (CO_2), monóxido de carbono de 87% (CO) y óxido de nitrógeno con 66% (NO), nocivos para el medio ambiente y la salud humana, (Ovando, 2010).

Es por esto que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha realizado un llamado internacional para la reducción del PM haciendo énfasis en los tamaños de 10 micras o menor a ellas con el fin de mitigar la contaminación atmosférica y mejorar la salud de la población mundial (Organización Panamericana de la Salud, s.f.), objeto que tiene relación con las metas planteadas para los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) especialmente en el objetivo tres de salud y bienestar y el objetivo trece de acción por el clima, los cuales se enfocan en preservar y aumentar las áreas con aire seguro para la población, (Objetivos del Desarrollo Sostenible, 2015).

Algunas de las estrategias de control de emisiones atmosféricas, es desincentivar el uso del vehículo personal en los desplazamientos a realizar activando el transporte colectivo y un modelo de transporte público masivo que utilice tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente (Alcaldía de Bogotá, 2018), así como las medidas estrictas con respecto al control del año de fabricación y motor de los automóviles (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2014), otra estrategia es la implementación de filtros de partículas directamente desde la fuente de emisión; con el fin de garantizar una reducción en las emisiones generadas por fuentes móviles (Alfonso Corredor, 2018).

Debido a esta problemática ambiental, se ha innovado y estudiado diferentes tipos de materiales utilizados para la retención de PM_{10} en los vehículos, un claro ejemplo es el filtro para partículas diésel (DPF por sus siglas en ingles) el cual utiliza la cerámica para atrapar el PM_{10} de vehículos que funcionan a base de diésel. Otro filtro comúnmente utilizado es el Continuously Regenerating Trap (CRT) que contiene igualmente cerámica el cual retiene la mayor cantidad de PM_{10} siendo el filtro que ofrece el cumplimiento de la Euro VI (estándar de emisiones) que permite verificar que los filtros tengan eficiencia de remoción del 95%, dicho

estándar fija una emisión de 0.005g/km para vehículos ligeros que usan gasolina y diésel (Cortés Duarte, 2016).

Por ello el mejoramiento de la calidad del aire y el costo de las tecnologías limpias son temáticas que buscan un desarrollo sostenible, ya que es un tema de gran interés e importancia para el futuro.

En este sentido, la presente monografía pretende abordar los materiales degradables y no degradables que se utilizan para la captación de PM con el fin de reducir la carga contaminante proveniente de diferentes fuentes. Esto puede ayudar a próximas investigaciones que pretendan evaluar nuevos materiales con una mayor efectividad, debido a que sus propiedades, reducirían el impacto ambiental, social y económico asociado, aportando al campo de la investigación e innovación acerca de materiales alternativos para la retención de contaminantes atmosféricos.

1. Generalidades

La preocupación por la contaminación del aire ha sido uno de los temas con mayor importancia en todo el planeta. Este aspecto está directamente relacionado con el estilo de vida moderno que llevan la mayoría de los habitantes de las diferentes ciudades, igualmente de la construcción y planificación de las ciudades. Debido a la contaminación, se genera una mayor importancia del recurso aire, al querer proteger la salud de la población y el mejoramiento de la calidad de vida. (Chile, 2018)

1.1 Importancia de la contaminación del aire

El aire es el resultado de la interacción de gases y aerosoles que rodean el planeta tierra. Es esencial para el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y para el sostenimiento de la vida humana, animal y vegetal. Los principales componentes del aire se representan en la Tabla 1, donde se observa que gases como el nitrógeno y oxígeno son sus principales componentes.

Tabla 1. Principales gases componentes del aire

Gas	Porcentaje
Nitrógeno	78%
Oxígeno	20,9%

Gas	Porcentaje
Argón	0,93%
Dióxido de Carbono	0,03%
Otros gases como: Helio, Criptón, Xenón, Metano, Óxido Nitroso, Vapor de Agua, Ozono y partículas	Valores < 0,03%

Fuente: (Mainwaring, 2012).

Es necesario entender que los recursos naturales como el aire son susceptibles a deteriorarse, alterando negativamente su calidad y en consecuencia también la calidad de vida de las personas. Una de las situaciones que generan mayor contaminación del aire es el aumento de la población, ya que las emisiones de las actividades antropogénicas alteran su calidad al transferir componentes orgánicos e inorgánicos a la atmósfera (Alcaldia de Bogotá, 2018). Por lo anterior, se hace imprescindible controlar racionalmente los recursos vitales y realizar mejoras en la calidad del aire porque trae beneficios para la salud, tanto de niños como de adultos (Chile, 2018).

Según la OMS (2013), aproximadamente el 91% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire exceden los límites propuestos por este organismo internacional. La contaminación del aire afecta tanto a los países desarrollados como a los países en desarrollo. Sin embargo, los países de ingresos bajos y medianos sufren la mayor carga, ya

que se registra el mayor número de víctimas en las regiones del Pacífico Occidental y en Asia Sudoriental.

Una de las principales fuentes de contaminación atmosférica es el uso indiscriminado e irracional de combustibles fósiles, lo cual altera la calidad del aire al emitir gases y partículas de diversa naturaleza. Sin embargo, las políticas integradas de planificación urbana y transporte público pueden fomentar el uso de medios que utilicen tecnologías más limpias como medidas de control. También pueden promover acciones individuales como aumentar los viajes en bicicleta, caminar y utilizar transporte público para generar beneficios en la salud física y buscando un aire más limpio. (Alfonso Corredor, 2018)

En este orden de ideas, se deben proponer y ejecutar ideas que minimicen los impactos de los procesos antropogénicos que generan efectos a nivel mundial como la aceleración del calentamiento global y a su vez la afectación a organismos vivos.

1.2 Clasificación de material particulado

Es importante generar una idea clara de la variabilidad de contaminantes que están presentes en el aire, en la Tabla 2 se visualiza la clasificación de algunos de los contaminantes atmosféricos donde está incluido el (PM₁₀).

Tabla 2. Contaminantes atmosféricos

CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	BIOLÓGICOS	Virus, bacterias y hongos. (Castelo, 1994)
	FÍSICOS	Ruido, radiaciones ionizantes y material particulado. (Castelo, 1994)
	QUÍMICOS	Dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y COV's entre otros, adicionalmente las partículas ya que es variado el origen químico (Tejerina, 2015)

Fuente: (Castelo, 1994) (Tejerina, 2015)

El conocimiento acerca de los contaminantes atmosféricos emitidos por las actividades antrópicas es clave para crear estrategias de disminución. Las partículas pueden clasificarse en sólidas o líquidas, algunas se pueden percibir a simple vista por su color o tamaño, otras son microscópicas, un ejemplo del tamaño de una partícula se muestra en la figura 1, donde se compara un grano de arena con un cabello humano. Dichas partículas tienen una composición química diversa y el tamaño de estas varia de 0,005 a 500 micrómetros de diámetro aerodinámico. Se producen por la combustión de los motores a base de diésel, combustión incompleta de combustibles sólidos como la madera y el carbón, al igual que por la condensación de vapores ácidos y compuestos orgánicos semi-volátiles, y por medio de las reacciones de NO₂ y SO₂ que forman nitratos y sulfatos. (Mainwaring, 2012)

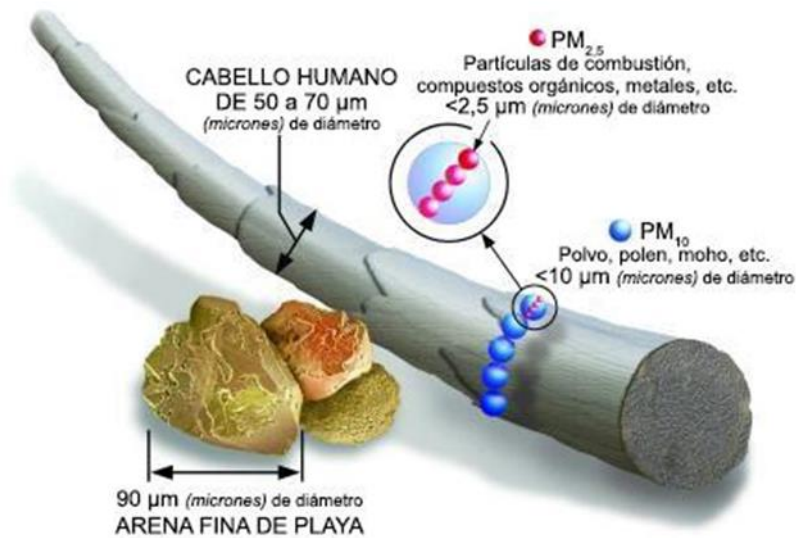


Figura 1. Ejemplo de tamaño de partícula (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018)

Según la masa y composición las partículas se dividen en dos grupos: partículas gruesas, y partículas finas, aunque la mayor parte de las partículas tienen una corta existencia debido a su precipitación por gravedad o se impactan con superficies de viento que puede llegar a tener condiciones de humedad, según (Rodríguez, Rojas, Estévez, & Christian, 2018). Los tamaños se pueden detallar en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de partículas según tamaño.

<i>Tipo de partícula</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Descripción</i>
Gru esa	Mayor a 2.5 μm de diámetro aerodinámico (PMT - PM _{2.5} , PM _{10-2.5} ,)	Son producidas por procesos mecánicos (prensado, molienda, abrasión, rompimiento de sólidos/gotas), evaporación de aerosoles, suspensión de polvos, reacción de gases en o sobre partículas.
Fina	Menor a 2.5 μm de diámetro aerodinámico pero mayores a 0.1 μm (PM _{2.5-0.1})	Se forman por la condensación de gases, coagulación de partículas pequeñas, reacción de gases en o sobre las partículas, evaporación de neblina y gotas de agua en las que los gases se han disuelto y reaccionado.
Ultr afino	Menor a 0.1 μm (PM _{0.1})	Se forma por procesos de nucleación de gases atmosféricos, incluidos H ₂ SO ₄ , NH ₃ y algunos compuestos orgánicos• Condensación de gases.

Fuente: (EPA, 2009)

Existe otro tipo de clasificación (Rodríguez, Rojas, Estévez, & Christian, 2018) según el tamaño y penetrabilidad en el sistema respiratorio humano. Este fue propuesto por Soderholm, y se basa en la eficiencia de colección según su diámetro aerodinámico en distintas zonas del sistema respiratorio, siendo su clasificación: inhalable, torácico y respirable. Según la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) el PM también puede clasificarse según su estado y su interacción con la atmósfera, tal como se evidencia en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de partículas según su origen.

<i>Según su interacción con la atmósfera</i>	<i>Según su estado</i>
Partículas primarias: entran en contacto de forma directa con la atmósfera. Incluyen las partículas filtrables y condensables.	Partículas filtrables: Son emitidas en estado sólido y/o líquidos. Pueden ser retenidas en filtros.
	Partículas condensables: las cuales son emitidas en estado gaseoso, pero al entrar en contacto con la atmósfera cambian de estado líquido a sólido.
Partículas secundarias: Se forman en la atmosfera por reacciones químicas, las cuales pueden ser condensaciones o licuefacciones de gases. Se caracterizan por tener un lugar lejano a la emisión.	Ninguno

Fuente: (EPA, 2017)

1.3 Impactos de la contaminación del aire por PM

Según la OMS (2018) el material particulado es el contaminante que más afecta a los seres humanos. Posee características físicas y químicas que cambian según su ubicación, los impactos asociados a la contaminación atmosférica son los impactos económicos, a la salud humana, variabilidad climática, paisajismo, visibilidad, vegetación, con los cuales se puede evidenciar el gran impacto negativo de la contaminación por material particulado.

1.3.1 Impacto económico:

Es inevitable no medir el impacto económico que repercuten los impactos negativos al medio ambiente. En este caso el valor económico de la contaminación atmosférica según estudio de OECD (2016) calcula que en 2060 los perjuicios sanitarios de la mala calidad del aire podrían provocar la pérdida de 3750 millones de días de trabajo por año. El impacto directo sobre productividad de los trabajadores, aumento del gasto sanitario en atención de enfermedades respiratorias y menor rendimiento de los cultivos a causa de las partículas que obstruyen los procesos fotosintéticos y normal desarrollo de plantaciones puede superar el 1% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial (o 2,6 billones de dólares al año) en 2060.

Son diferentes las cifras que no reflejan el costo real de la contaminación del aire, ya que este costo es inmenso teniendo en cuenta las muertes prematuras por inhalación de micropartículas, dolor y sufrimiento de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, sumando a las afectaciones psicológicas las cuales no tienen precio de mercado. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2016).

Por eso la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2016) exploró estudios económicos sobre la contaminación del aire para cuantificar el valor que la gente asigna a su salud y en promedio, cada persona aceptaría pagar unos 30 dólares por reducir una cienmilésima su riesgo anual de muerte prematura.

1.3.2 Impacto a la Salud

Las exposiciones breves al PM_{10} probablemente son similares en ciudades de países desarrollados y en ciudades de países en desarrollo, con un incremento de la mortalidad de alrededor del 0,5% por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración diaria, por lo que una concentración de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad diaria del 5% OMS (2013), motivo de preocupación y alarma, en donde se deberían aplicar.

Hay que aclarar que no todas las partículas suspendidas en el aire tienen el mismo grado de daño y toxicidad, ya que depende de la composición química y del tamaño de la partícula, ya que entre menor sea el tamaño puede ser más fácilmente respirable cómo se observa en la (Figura 2) y penetrar en el sistema respiratorio (Sbarato, Sbarato, & Ortega, 2002), lo que podría desencadenar consecuencias anormales y negativas.

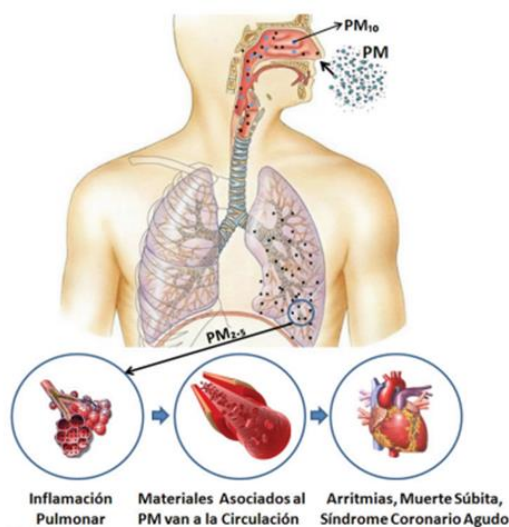


Figura 2. Inhalación del (PM) (OMS, 2014)

Es complicado obtener una relación entre la exposición de concentraciones de varias partículas y los efectos resultantes en la salud del ser humano, puesto que esto depende del tiempo de exposición, además de que es difícil reproducir en un laboratorio el entorno con condiciones exactas en la atmósfera.

Actualmente los datos de la OMS se tienen en consideración estimando que el 92% de la población mundial vive en zonas donde el PM excede los límites establecidos (OMS, 2016), en especial por PM₁₀ y PM_{2.5}, la mitad de la población está expuesta a contaminación del aire en los espacios cerrados, por la utilización de combustibles sólidos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2016). Aproximadamente el 87 % de la población mundial vive en lugares de expansión y densidad urbana, donde los niveles de contaminación y la baja calidad del aire son perjudiciales para la salud, causando alteraciones locales como lo son alergias oftálmicas, dérmicas o rinitis (OMS, 2016).

En cuanto al PM en la salud de los seres humanos, agrava las enfermedades respiratorias y cardíacas que ya existen en el organismo o las desarrolla. Causa un daño directo a los pulmones especialmente a las poblaciones vulnerables, como por ejemplo las personas que tienen influenza, enfermedades pulmonares cardíacas, asmáticos, adultos mayores y niños eficazmente una serie de medidas correctivas (OMS, 2016)

En la población vulnerable (menores de 5 años, mujeres embarazadas, personas con enfermedad cardíaca o pulmonar y mayores de 60 años) estas afecciones pueden ser más violentas, generan complicaciones bronco-respiratorias o cardíacas, lo que implica mayor asistencia a los servicios de salud (Alcaldía de Bogotá, 2018).

Gran parte de las enfermedades se encuentran entre las principales causas de muerte de los niños de un mes a 5 años, como son las neumonías a causa de contaminación ambiental (OMS, 2016)

La Dra. Margaret Chan, Directora General de la OMS (2017) afirma que “los niños son más vulnerables a la contaminación del aire y el agua debido a que sus órganos y su sistema inmunitario se están desarrollando y a que todo su cuerpo, en especial sus vías respiratorias”. Otra cifra oficial es que 570.000 niños menores de cinco años fallecen como resultado de infecciones respiratorias. Por ejemplo, neumonías causadas por la contaminación del aire, anualmente mata aproximadamente a 3 millones de personas y afecta a todas las regiones del mundo.

El PM_{10} al tener un tamaño igual o inferior a 10 micras puede entrar en el sistema respiratorio y almacenarse en los pulmones, dando paso al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, como el cáncer de pulmón.

Las enfermedades respiratorias son comúnmente producidas por este tipo de contaminación, entre ellas el asma, bronquitis, neumonía, enfisema, arritmia e insuficiencia cardíaca, y deterioro de arterias que puede causar paros cardiorrespiratorios entre otras. Estas enfermedades se manifiestan por medio de tos, flema, presión en el pecho, falta de aire, formación de coágulos en la sangre, baja oxigenación en el cuerpo y ritmos anormales cardiacos. Cifras como las expuestas por la OMS (ver Tabla 5), han puesto en alerta a los diferentes organismos de salud y medio ambiente para activar estrategias de disminución de material particulado.

Tabla 5. Enfermedades causadas por el asesino invisible “la contaminación en el aire”

Muertes debidas a la contaminación atmosférica – desglose por enfermedad		Muertes debidas a la contaminación del aire de interiores – desglose por enfermedad	
Enfermedad	Porcentaje (%)	Enfermedad	Porcentaje (%)
cardiopatía isquémica	40%	accidente cerebrovascular	34%
accidente cerebrovascular	40%	cardiopatía isquémica	26%
neumopatía obstructiva crónica	11%	neumopatía obstructiva crónica	22%
cáncer de pulmón	6%	infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños	12%
infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños	3%	cáncer de pulmón	6%

Fuente: (OMS, 2014)

1.3.3 Impacto en la vegetación

La vegetación es uno de los recursos directamente afectados por la contaminación de PM, uno de los impactos que se generan es la acumulación sobre las hojas de las plantas y la obstrucción de las estomas, lo que dificulta el proceso de fotosíntesis y causa necrosis en las hojas (ver Figura 3), es decir su muerte por falta de luz. En algunos casos existen partículas

sólidas no tóxicas, que actúan positivamente en algunos tipos de vegetales, siendo una forma de nutrición ya que sus propiedades químicas pueden contener nitratos que desarrollan las propiedades positivamente (Castelo, 1994).



Figura 3. Necrosis en hojas (Mainwaring, 2012)

Otro impacto depende de la composición química de la partícula, ya que el viento puede transportar las partículas a largas distancias y luego, dichas partículas caen al suelo o el agua provocando cambios fisicoquímicos en cuerpos hídricos (EPA, 2017)

En cuanto al impacto negativo en la fotosíntesis de la vegetación, otro impacto que se relaciona directamente es causando merma en las cosechas, ya que no se obtienen los productos vegetales deseados por la dificultad del desarrollo de la plántula. (Pequeño Ledezma, Rodríguez, Aguirre, & Molina, 2019).

El follaje de la vegetación puede cumplir un papel como receptor del material particulado y como parámetro de referencia sobre el grado diferencial de contaminación (Pequeño Ledezma, Rodríguez, Aguirre, & Molina, 2019).

Según Egas, Naulin, & Préndez, (2018), en el caso de la vegetación urbana la cual ha sido utilizada como filtro de retención de partículas provenientes de la combustión de vehículos,

los árboles que reciben grandes cantidades de PM sufren como consecuencia que sus hojas se sequen.

1.3.3.1.1 Cambio climático

Las emisiones a la atmósfera impactan directamente en los fenómenos meteorológicos, debido a las emisiones de gases efecto invernadero, en cuanto al tema de partículas por su composición sólida y color oscuro en su mayoría, estas suben y causan una capa en la atmósfera, lo cual genera que el sol no se observe con claridad, al igual que las nubes, por lo que genera un cambio climático directo (Ferran, 2005).

Según Eastburn (2019) sobre un área determinada el smog afecta las condiciones meteorológicas de esa zona. Ciertas partículas oscuras como el carbón negro (BC, Black Carbon), absorben la radiación solar y disipan la luz solar, contribuyendo con la producción de la niebla característica que llena los cielos de las megas ciudades de todo el mundo. Esta niebla reduce la cantidad de energía solar que llega hasta la superficie de la Tierra.

1.3.4 Impacto paisajístico y urbano

Por otro lado, el material particulado causa problemas paisajísticos generando un deterioro amplio en los ecosistemas, ya que la vegetación se deteriora, el agua se ve afectada por la contaminación de sólidos, los animales sufren enfermedades o simplemente mueren y las

infraestructuras se deterioran fácilmente por la acumulación de material particulado (Castelo, 1994).

La infraestructura de las urbes se desgasta al ensuciarse las fachadas, lo que conlleva limpiezas con más frecuencia, inclusive se efectúa una acción erosiva sobre diferentes materiales, generando elevación de costos por mantenimientos, modificaciones y pintura (Castelo, 1994). La reducción de la visibilidad del paisaje es una gran demostración de la afectación que sufren las grandes ciudades, como en el caso de la ciudad de Bogotá (ver Figura 4).

La contaminación del aire que reduce la visibilidad se conoce con frecuencia como niebla o smog (ver Figura 4). El cual es una combinación de humo y niebla, el smog se origina principalmente en ciudades o en lugares donde hay gran concentración de personas, industrias, medios de transporte que utilizan combustibles fósiles, y en algunas ocasiones se desplaza con el viento y puede encontrarse en áreas rurales. (Eastburn, 2019). Lo anterior se genera por un efecto conocido como inversión térmica, que consiste en un aumento anómalo de temperatura en las capas altas atmosféricas; es decir que a cierta altura, la temperatura es superior al de las capas de aire más bajas, lo que impide la dispersión de gases y provoca su reflexión hacia las capas bajas (Casal Fàbrega, Montiel, & Planas, 2001), como se muestra en la (Figura 4), en donde se genera una espesa niebla de color oscuro y pierde visibilidad desde alturas considerables, generando un efecto negativo y sensación de pérdida de paisajismo en la zona afectada. (Eastburn, 2019)



Figura 4. Reducción de la visibilidad paisajística en la ciudad de Bogotá (Sepúlveda & Ortega, 2017)

2. Materiales de filtros para la de retención de PM_{10} en combustión vehicular

El material particulado posee características especiales como el tamaño y composición química. Diferentes métodos se utilizan para capturar el PM_{10} , dependiendo de la fuente de generación que pueden ser fijas o móviles; en fuentes fijas se realiza el uso de equipos de control para partículas como lo es los sedimentadores, filtros de mangas, precipitadores electroestáticos y ciclones, en cuanto a gases contaminantes se utilizan precipitadores húmedos de incineración, adsorción, absorción, condensación y captura, todo esto mediante el control de la eficiencia, procesos, uso y tipo de materia prima e insumos.

Para las fuentes móviles se generan programas, técnicas y normativas siendo un control externo de los automóviles; el uso de filtros en los automóviles para reducir la cantidad de partículas salientes, es un método que actualmente se está utilizando comúnmente.

Algunos de los programas, técnicas, normatividades para minimizar el impacto que causa la combustión al medio ambiente, por ejemplo, en Colombia son:

- Programa filtros de partículas Diésel - SDA
- Técnicas de eco-conducción – Secretaria de Movilidad Bogotá
- Normatividad EURO IV – Res. 1111/2013 MADS
- Resolución 2254 de 2017 ‘‘Norma de calidad del aire y otras disposiciones’’
- Chatarrización de particulares – se incentiva mediante ley 1630 de 2013

Esta monografía hace un enfoque en los materiales utilizados en filtros de retención de PM_{10} en fuentes móviles biodegradables, cada material posee propiedades específicas como la degradabilidad, eficiencia de remoción por medio de la porosidad, costo y otros datos, proporcionando información clave para el desarrollo de nuevos filtros y nuevas estrategias de reducción de material particulado, para ampliar la información se hace necesario definir si los materiales que se utilizan para la retención de partículas menores a 10 micras los cuales en su mayoría son no degradables, pero se tienen en cuenta principalmente los biodegradables.

Algunos de los materiales que comúnmente se utilizan para la retención de partículas en fuentes móviles son:

- Filtros de Partículas Diésel–DPF- (Hecho en celulosa y materiales de metal)
- Filtro cerámico con carburo de silicio
- Filtro metálico con acero inoxidable
- Microfibra de vidrio desechable
- Filtro de espuma cerámica

Materiales naturales que son utilizados para retener partículas en fuentes fijas y móviles:

- Hojas de plantas como por ejemplo: Las hojas de Pinos (Pinus) y Olmos (Ulmus minor), que son especies europeas y asiáticas. En este caso la especie de planta se escoge de acuerdo con la ubicación geográfica teniendo en cuenta los siguientes aspectos para una mayor retención de PM₁₀:

- ✓ Hojas de gran tamaño
- ✓ Textura rugosa
- ✓ Si contiene material cerámico (opcional)

- Nanofibras de proteína de seda de araña de la especie: Araneus diadematus comúnmente conocida como la araña de jardín europea o araña de la cruz

En la tabla No. 6, se determina y se clasifican los materiales biodegradables con el potencial de retener PM₁₀ proveniente de las emisiones de combustión vehicular.

Tabla 6. Clasificación de filtros por su degradabilidad en el medio ambiente

CLASIFICACIÓN DE FILTROS POR SU DEGRADABILIDAD EN EL MEDIO AMBIENTE	
NO DEGRADABLES	BIODEGRADABLES
Filtros de Partículas Diésel-DPF-	Hojas de plantas como por ejemplo: Las hojas de Pinos (Pinus) y Olmos (Ulmus minor), que son especies europeas y asiáticas.

Filtro cerámico con carburo de silicio	Nanofibras de proteína de seda de araña de <i>Araneus diadematus</i> comúnmente conocida como la araña de jardín europea o araña de la cruz
Filtro metálico con acero inoxidable	
Microfibra de vidrio desechable	
Filtro de espuma cerámica	

Fuente: (EPA, 2017)

En el caso de los materiales biodegradables, no hay material biodegradable en el mercado que sea propio para retener las partículas emitidas por los vehículos, en este caso se nombra y describe la tela de araña, ya que según investigaciones de (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018), es un buen material para retener PM_{10} de manera natural, y con características aptas para soportar la combustión vehicular. En el caso de las hojas de los árboles, aunque no están directamente puestas en el filtro, desde los árboles tienen la capacidad de retener la polución causada por las fuentes móviles reduciendo la contaminación atmosférica de forma natural.

Como se puede observar en la anterior tabla el 85% de los filtros comúnmente utilizados son de materiales no degradables debido a sus propiedades, un 15% son de material biodegradable y genera una retención de PM de manera natural sin tener un efecto adverso al disponerse.

A continuación, se hará la descripción de los materiales de filtros comúnmente utilizados y sus características relevantes para la retención de PM_{10} producto de la combustión vehicular.

Tabla 7. Tipos de materiales de filtros para la retención de partículas

MATERIALES PARA RETENCIÓN DE PM ₁₀ EN PROCESOS DE COMBUSTION VEHICULAR			
NO DEGRADABLES			
Tipo de filtro	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Filtro para partículas de Diésel</p> <p>Diesel Particulate Filter (DPF):</p>	<p>Geometría: diseño simétrico y asimétrico disponible</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: Variable (configuración estándar entre 43% - 60%) (Liqtech, 2020)</p> <p>Material: cuerpo filtrante a base de cerámica de cordierita, de carburo de silicio o metálico, como trampa para atrapar físicamente las partículas de los gases de escape. (Ambiental, 2014)</p> <p>La estructura, semejante a un panal de abejas (Ambiental, 2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mediante diferentes estudios se ha encontrado que el material con mayor eficiencia y método de sistema es el cerámico pasivo, cuya reducción se pone encima del activo y metálico por un 12%, no obstante, los filtros flujo de pared de carburo de silicio parecen estar en ventaja debido a su creciente demanda de fabricación (Adler, 2005) Eficiencia del 99,99. (Ambiental, 2014) 	<ul style="list-style-type: none"> Un limitante con respecto a este tipo de filtro es su correcto funcionamiento, ya que este no solo depende del material ni el sistema que se vaya a emplear sino también de la calidad del combustible empleado, entre mejor calidad mayor funcionamiento ejerce el filtro (Cortés Duarte, 2016). Costo: 1285.68 Dólares. (Alto)

		<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente emplean un cuerpo filtrante a base de cerámica de cordierita, de carburo de silicio o metálico, como trampa para atrapar físicamente las partículas de los gases de escape. (Ambiental, 2014) 	
Filtro cerámico con carburo de silicio (motor interno)	<p>Se emplea en los sistemas pasivos de filtración de partículas</p> <p>Suelen combinarse con otras sustancias químicas con el objetivo de tener una característica definida que depende del uso al que se le asigne, por ello existe variabilidad de tipos de cerámica (Vasquez, 2005)</p> <p>El principio de forma de panal de la cerámica obliga a los gases de escape pasar a través de los muros entre los canales del FAP. Las partículas se depositan en las paredes, a fin de reducir la cantidad de contaminación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capaz de atrapar partículas ultrafinas. • El material cerámico resiste altas temperaturas por su propiedad de refracción. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Es más comercializado que otros tipos de filtros. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). 	<ul style="list-style-type: none"> • Son más vulnerables a los cambios térmicos en la regeneración, ya que el material cerámico puede tener grietas, fracturas, paso de aceite a varias partes del filtro, y tener celdas rotas con los cambios de temperatura. • Existe un riesgo de incendio, porque el sistema de escape habrá que generar temperaturas de alrededor de 600 °C para poder llevar a cabo la combustión de hollín. Hay que tener cuidado dónde y cuándo se lleva a cabo.

	<p>del aire. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018).</p> <p>Material: Carburo de silicio con cerámica</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: Aproximadamente de un 48% según la empresa (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018).</p> <p>Alta resistencia a efectos mecánicos.</p> <p>Muy buena resistencia a cambios de temperatura.</p> <p>Capacidad de soportar cargas térmicas y conductividad.</p> <p>Alta resistencia al desgaste.</p> <p>(Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Algunos son impregnados con platino-paladio lo que asegura mayor capacidad de retención. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Caída de presión baja (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Baja dilatación térmica (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Alta estabilidad química. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • La durabilidad a largo plazo (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Excelente resistencia a la corrosión y oxidación. (Beihai Xiaoming 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede usar en un motor diésel viejo para eliminar las partículas. • La contrapresión disponible es demasiado pequeña para montar un FAP cerámico y su instalación sería demasiado cara. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Costo: 1285.68 Dólares (Altos)
--	--	--	---

		<p>International Import and Export Trading, 2018).</p> <ul style="list-style-type: none"> • La extracción de hollín de alta: > el 95%. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • Alta resistencia a la temperatura, que no disminuye significativamente hasta 500° C. (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). • (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). (Beihai Xiaoming International Import and Export Trading, 2018). 	
--	--	---	--

<p>Filtro metálico con acero inoxidable</p>	<p>Este tipo de material se ha utilizado recientemente como alternativa del material cerámico. (Gesfilter, 2018)</p> <p>Los filtros metálicos se auto regeneran y ofrecen una vía de escape directa al gas. (Gesfilter, 2018)</p> <p>Para que funcione bien es necesario que el motor esté al menos dotado de una sonda y un sistema de regulación, para permitir su regeneración. (Gesfilter, 2018)</p> <p>El filtro es desviado por los canales de 30°. La desviación produce el depósito de las partículas en las láminas de acero que se llenan reteniendo las partículas. (Gesfilter, 2018)</p> <p>El filtro está impregnado con Platino que permite una mejor eliminación de las partículas CO y HC (Brain, 2013).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a altas temperaturas y ambientes corrosivos (Gesfilter, 2018) • Puede ser limpiado in situ (Gesfilter, 2018) • Tiene una estructura plegada. (Gesfilter, 2018) • Mayor duración (Gesfilter, 2018) • No se taponan tan rápido en comparación a los cerámicos. (Gesfilter, 2018) 	<ul style="list-style-type: none"> • Un filtro metálico elimina hasta el 70% de las partículas emitidas por el motor. • Costo: 1007 Dólares. (Alto)
---	--	---	---

	<p>Material: Acero inoxidable.</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: Aproximadamente de un 68% (Brain, 2013).</p>		
Microfibra de vidrio desechable	<p>Material: Fibra de vidrio (papel desechable). (EHC, 2018).</p> <p>Debe utilizarse en condiciones especiales, como temperaturas bajas, máximo 250-300°C. (EHC, 2018).</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: 52%</p> <p>No posee una degradabilidad eficiente (EHC, 2018).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La reducción de partículas es muy alta, hasta el 99% de las partículas de 0,4 micras. (European Haemophilia Consortium, 2018) • Tienen una velocidad de flujo rápida (EHC, 2018). • Gran capacidad de carga y la retención de partículas muy pequeñas, extendiéndose hasta el rango en nanómetros. (EHC, 2018). 	<ul style="list-style-type: none"> • No poseen una alta resistencia térmica, a comparación de materiales cerámicos y metálicos. (EHC, 2018). • El tiempo de vida útil depende del tamaño del motor, así como del tipo, condiciones de uso y estado de este. En promedio dura 100 arrancadas. (EHC, 2018). • Costo: 970 Dólares. (Alto)

<p>Filtro de espuma cerámica</p>	<p>Material: Cerámica</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: 74%.</p> <p>Con diámetro interior de 2 cm y diámetro exterior de 4 cm.</p> <p>La espuma de SiC recubierta con ZnO.</p> <p>La distribución de tamaño de poro promedio es 586 μm.</p> <p>Se retienen las impurezas y los óxidos (Jian, y otros, 2015).</p> <p>Costo: 700 Dólares.</p> <p>Este tipo de espuma se clasifica a partir de la eficiencia de remoción por medio de la porosidad, y son comúnmente utilizados en la retención de partículas sólidas de las fuentes fijas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> En general, la vida útil del filtro es de cinco a 10 años en una gama de aplicaciones. Resistencia térmica hasta 1500 °C 	<ul style="list-style-type: none"> Costo: 700 Dólares (Alto)
<p>BIODEGRADABLES</p>			

<p>Nanofibras de proteína de seda de araña de <i>Araneus diadematus</i> comúnmente conocida como la araña de jardín europea o araña de la cruz</p>	<p>Se producen a partir de la electrospinning la nanofibras de la especie de <i>Araneus diadematus</i> comúnmente conocida como la araña de jardín europea o araña de la cruz (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018).</p> <p>La proteína que tiene la seda de araña posee propiedades de estabilidad química y de fácil control morfológico que se aplican eficientemente a los filtros de calidad de aire para mitigar los contaminantes atmosféricos. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p> <p>Actualmente se utilizan como recubrimiento de malla de seda para filtros existentes, y mejorar su eficiencia. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro ecológico que se degrada sin liberar los contaminantes. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018) • Eficiencia entre un 90 – 97% para PM_{2,5} y PM₁₀. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018) • Alta capacidad de retención. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018) • Debido a su estabilidad química y a su morfología controlada, esta última puede usarse para mejorar los materiales de filtro. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018) • Costo: 500 Dólares, bajo en comparación con materiales no degradables (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018) 	
--	--	--	--

	<p>Filtro ecológico que se degrada sin liberar los contaminantes. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p> <p>Alta capacidad de retención. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: 45%</p> <p>Visibilidad (su aplicación está diseñada para implementarse en vidrios de las ventanas). (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p> <p>Control de la temperatura no sobrepase los 250°C. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p> <p>Fibras lisas de diámetros de entre 80 – 12 nm (según la concentración de proteína que tenga la fibra, así mismo será su diámetro). (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p>		
--	--	--	--

	<p>Alta permeabilidad (esto se logra luego de un postratamiento). (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p> <p>Fuerza y extensibilidad. (Lang, Jokish, & Sheibelm, 2018)</p>		
Hojas de plantas	<p>Para mejorar la calidad del aire al influir en la dispersión de los contaminantes, la vegetación actúa como un filtro natural por intercepción de las partículas transportadas por el aire, en donde sus hojas, ramas y ramillas absorben las partículas. (Egas, Naulin, & Préndez, 2018).</p> <p>La eficiencia varía de acuerdo con la cantidad de vegetación en el sitio, siendo un 60% (Egas, Naulin, & Préndez, 2018).</p> <p>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad: 30% (Egas, Naulin, & Préndez, 2018).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La capacidad de retención depende principalmente de las características en la superficie de las hojas, lo cual es ventajoso porque existen variedad de hojas y tamaños. (Egas, Naulin, & Préndez, 2018) • Material biodegradable (Egas, Naulin, & Préndez, 2018) • Es paisajísticamente agradable a la vista (Egas, Naulin, & Préndez, 2018) • Costo: entre 10 y 100 Dólares, bajo en comparación con materiales no degradables. 	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de crecimiento es largo. (Egas, Naulin, & Préndez, 2018) • Existen sitios en donde no se puede plantar (Egas, Naulin, & Préndez, 2018)

	<p>La fracción de partículas más gruesas suele eliminarse durante las precipitaciones. (Egas, Naulin, & Préndez, 2018)</p> <p>La mayoría de las plantas tienen una gran superficie por unidad de volumen aumentando la probabilidad, deposición. (Egas, Naulin, & Préndez, 2018).</p> <p>Los ejemplos de plantas más comunes son las hojas de Pinos (Pinus) y Olmos (Ulmus minor), que son especies europeas y asiáticas.</p> <p>Para escoger la especie de planta adecuada se debe tener en cuenta la ubicación geográfica y los siguientes aspectos para una mayor retención de PM₁₀: Hojas de gran tamaño, textura</p>		
--	--	--	--

	rugosa, si contiene material cerámico (opcional).		
--	--	--	--

2.1 Comparación y análisis de características y eficiencias generales de los materiales de retención de partículas.

A través de la información bibliográfica recolectada en la tabla 7, se realizó una tabla comparativa (Ver tabla 8), con el fin de generar el conocimiento sobre el material con mejores propiedades, y características técnicas y económicas, siendo un referente de consulta para futuras investigaciones.

Tabla 8 *Tabla comparativa de materiales.*

Aspectos	No degradable	Biodegradable
<i>Eficiencia en retención de partículas</i>	En promedio 99%, por la diversidad de materiales sintéticos.	En promedio 75% entre los dos materiales descritos (tela de araña y material vegetal.).
<i>Costos</i>	Costos altos de producción en promedio de 700 a 1300 dólares.	Por la obtención del material el costo es bajo, aunque se debe tener un debido mantenimiento que aumenta el costo en promedio de 10 a 500 dólares.
<i>Durabilidad</i>	Alta, debido a los diferentes tipos de material.	Baja, en el caso del material vegetal puede presentar problemas en las estomas de las hojas al sobresaturarse. Adicionalmente los materiales biodegradables

		presentan mayor vulnerabilidad por su naturaleza.
<i>Velocidad de flujo</i>	Alta debido a sus especificaciones técnicas.	Baja, por la naturaleza del material.
<i>Resistencia a la temperatura</i>	Alta (temperatura entre 250°C-300°C).	Media (se debe tener un control constante de la temperatura, que no sobrepase los 250°C).
<i>Eficiencia de remoción por medio de la porosidad</i>	En promedio 50-70%	En promedio 35%
<i>Permeabilidad</i>	Alta, no se alteran sus componentes químicos.	Media, depende del material biodegradable.
<i>Complejidad</i>	Su elaboración masiva en las fábricas hace que su nivel de complejidad sea bajo.	<p>En su mayoría deben pasar por procesos complejos para que se puedan obtener eficiencias altas.</p> <p>Un claro ejemplo es el lento crecimiento de los árboles (FAO, 2017), que genera una gran limitación.</p>
<i>Mantenimiento</i>	Periódico, para verificar su funcionamiento eficaz.	Periódico, al requerir condiciones específicas para lograr su eficacia en la retención.
<i>Impacto visual y ambiental</i>	Al contener materiales sintéticos no degradables su impacto ambiental es negativo, y visualmente no son relevantes.	Se degrada sin liberar los contaminantes, y es agradable visualmente.

2.1.1. Análisis de la tabla comparativa de materiales

De acuerdo con la tabla 8, los materiales no degradables poseen mejores características y propiedades para retener el PM_{10} , todo esto de acuerdo a la información bibliográfica recolectada, por ejemplo poseen en su mayoría eficiencias del 99%, como es el caso de los filtros de mangas que de acuerdo a sus características y propiedades poseen materiales con mayor resistencia y durabilidad que genera una mayor acogida por parte de las empresas comercializadoras que los utilizan., y en comparación con algunos materiales biodegradables.

Características como la durabilidad y la resistencia a la temperatura, son referentes para optar por materiales sintéticos, que se consiguen con mayor facilidad, menor costo entre 10 y 500 dólares y aunque su impacto ambiental es negativo debido a su baja degradabilidad, en términos técnicos y económicos es la mejor opción. Aunque siempre hay que medir el impacto ambiental que estos generan, y en este caso al poseer características no degradables generan un alto costo ambiental.

Debido al nivel de importancia que cada día aumenta en la sociedad con respecto al tema ambiental, se evidencia que se están generando investigaciones para desarrollar materiales amigables con el medio ambiente, que no requieran un proceso largo de degradación, con el fin de reducir la contaminación ambiental generada por residuos sólidos.

El anterior análisis, abre paso a futuros estudios que pretendan desarrollar materiales biodegradables con mejores propiedades, y que superen las propiedades y características de los materiales no degradables.

3. Conclusiones

Finalmente, se obtuvo una descripción de los materiales más utilizados para el control y retención de PM_{10} por fuentes de combustión, por medio de una tabla descriptiva; existen materiales biodegradables con el potencial de retener PM_{10} proveniente de las combustiones, por ello se concluyó que, aunque sirven para retener PM, no son tan eficientes como los materiales artificiales.

Mediante las tablas descriptivas se obtuvo información sobre las características técnicas y económicas para el uso de filtros elaborados con materiales biodegradables y no degradables, en donde se obtuvo que por estas características son más utilizados los no degradables actualmente.

Las emisiones de PM se han elevado por diferentes factores como la falta de control de las autoridades ambientales en cada lugar, aumento de la población mundial, crecimiento de la industria. De acuerdo con la investigación bibliográfica realizada, se puede concluir que existen diversos materiales no degradables que se encuentran en el mercado y que son más económicos y con mejores eficiencias que los materiales biodegradables, aunque causen un mayor impacto al contener productos que alteran el medio ambiente.

No en todas las zonas urbanas se pueden encontrar fuentes naturales de retención de partículas, es decir estas fuentes son una mejora para la calidad del aire en las zonas con gran tráfico de automóviles e industrias que emiten PM_{10} .

El poder implementar filtros de retención de partículas es una estrategia esencial para contribuir a la calidad de vida. Esta medida tendría que ser no solo interpuesta por autoridades ambientales sino también reguladas por entidades autorizadas para velar por el verdadero cumplimiento de la medida. Es un proceso difícil de lograr en especial por el costo

de los filtros, pero es una medida que se debe trabajar generando conciencia respecto a las consecuencias de no actuar contundentemente contra las partículas en suspensión.

Al igual, el transporte debe evolucionar e implementar tecnologías más limpias que favorezcan no solo un ambiente menos contaminado por CO₂ y PM, mejorando su esperanza y calidad de vida, sino también menos contaminado por el ruido generado por todos los vehículos movidos por motores de combustión bien sea diésel, gasolina o gas natural vehicular.

Finalmente se concluye que durante la revisión bibliográfica los filtros no degradables son más acogidos por su costo, eficiencia y disponibilidad en comparación con los materiales biodegradables.

4. Recomendaciones

Los cambios estructurales, tal como la reducción del consumo de energía en fuentes de combustión, modos de transporte cambiantes, planificación del uso del suelo, de esta manera los cambios realizados mediante acciones como el uso de medios de transporte más limpios, cuyo funcionamiento no generen un alto impacto negativo.

Buscar estrategias que permitan por medio del control político, un control sólido y estructurado frente a los medios más contaminantes como lo son las industrias, el transporte de carga y el transporte público para retener las partículas que circulan diariamente en el aire, son indispensables para alargar la calidad de vida actual y mejorar la de las futuras generaciones.

La investigación de filtros naturales y de estrategias que permitan retener PM, para causar un menor impacto negativo al medio ambiente, ha generado ideas sostenibles y es uno de los fines de este documento; se pudo generar una clasificación de algunos materiales de acuerdo a sus propiedades degradables y no degradables que son utilizadas para retener PM en el aire, siendo una consulta que clasifica y expone la situación actual de materiales con características diferentes para futuras investigaciones sobre materiales biodegradables que puedan tener mayores eficiencias y menores costos.

Bibliografía

Adler, J. (2005). Ceramic Diesel Particulate Filters. *Revista Internacional de Tecnología Cerámica Aplicada*, 429-439. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1744-7402.2005.02044.x>

Agencia de Protección Ambiental. (9 de Julio de 2017). *Hoja de Datos - Tecnología de*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/tecnologia/ff-hepas.pdf>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (19 de Enero de 2017). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (04 de Junio de 2018). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (02 de Febrero de 2018). *Material particulado*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/>

Agency, E. P. (Julio de 1999). *Controles de Materia Particulada*. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir2/cs6ch3-s.pdf>

Alcaldía de Bogotá. (2018). *Calidad del aire y salud urbana*. Obtenido de http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Boletines%20temticos/ASIS/2018/Calidad_de_l_Aire_y_Salud_Urbana.pdf

Alcaldía Mayor de Bogotá. (11 de Noviembre de 2011-2023). *Documento Técnico Línea de Intervención Aire, Ruido y Radiación Electromagnética*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=969c5996-6f71-4c1d-a3b9-504dcc2f706a&groupId=55886

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (26 de Diciembre de 2014). *Programa para filtros vehiculares*. Obtenido de http://www.ambientebogota.gov.co/es/c/document_library/get_file?uuid=3e670f03-cbda-48cd-8c20-ed03eb69feb4&groupId=586236

Alfonso Corredor, D. M. (Septiembre de 2018). *Emisiones de material particulado de los vehículos en Bogotá. Estrategias de gestión ambiental para su mitigación*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38114/DOCUMENTO%20DIANA%20MELISA%20ALFONSO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Alibaba. (15 de Febrero de 2020). *Costo de filtros de mangas*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <https://spanish.alibaba.com/g/bag-filter-cost.html>

Ambiental, D. d. (25 de Diciembre de 2014). *Programa de filtros de partículas Diésel para Bogotá*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de http://www.ambientebogota.gov.co/es/c/document_library/get_file?uuid=3e670f03-cbda-48cd-8c20-ed03eb69feb4&groupId=586236

Ambientales., I. d. (2018). *Emisiones por fuentes móviles*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>

Banco Mundial. (2018). *Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial: datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2018&start=1960&view=chart

Barron Adame, J. (2018). *Modelado de un sistema de supervisión de la calidad del aire usando técnicas de fusión de sensores y redes neuronales*. Obtenido de <http://oa.upm.es/view/institution/Telecomunicacion/>

Beihai Xiaoming International Import and Export Trading. (2018). *Panal de cerámica Sic DPF Filtro de partículas Diesel de escape para motores*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_xiaomingdxy/product_Honeycomb-Ceramic-Sic-DPF-Diesel-Particulate-Filter-for-Engines-Exhaust_euyrirghy.html

Brain. (2013). *Filtros de partículas metálicos*. Obtenido de <http://www.catalizadores-brain.com/producto/filtros-particulas-universales-metalicos/>

Casal Fàbrega, J., Montiel, H., & Planas, E. (2001). *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de https://books.google.com.co/books?id=U8PRs-nLWqQC&pg=PA214&dq=inversion+termica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi8mP_mk_joAhXOm-AKHbGkDtAQ6AEISTAE#v=onepage&q=inversion%20termica&f=false

Castelo, J. (1994). *Manual de contaminación ambiental*. Madrid: MAPFRE.

Chile, M. A. (11 de Enero de 2018). *Guia de la Calidad del Aire y Educación Ambiental*. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>

Chong, L., Po-Chun, H., Hyun-Wook, L., Meng, Y., Guangyuan, Z., Nian, L.Yi, C. (2015). Transparent air filter for high-efficiency PM2.5 capture. *Nature Communications*, 24.

Cordero, V. (2014). El ciclo del nitrógeno. *Revista Acuariofilia*, 3-5. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Cortés Duarte, M. (2016). *bdigital repositorio institucional UN*. Obtenido de Eficiencia de remoción de material particulado usando filtros de partículas en vehículos diésel del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá D.C.: <http://bdigital.unal.edu.co/54183/1/mariacarolinacortesduarte.2016.pdf>

Cosude. (Junio de 2014). *Participación en la Misión No. 03 del DPF Project - BDPF en Santiago (Memorias)*. Universidad Nacional de Colombia y Secretaría Distrital de Ambiente. Obtenido de Participación en la Misión No. 03 del DPF Project - BDPF en Santiago (Memorias).

Díaz, Y., & Gonzalez, E. (Enero de 2016). *Diseño de un filtro de mangas para el sistema de depuración de gases de una*. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/328875399_Disenio_de_un_filtro_de_mangas_para_el_sistema_de_depuracion_de_una_aceria_electrica/link/5be872f64585150b2baf3439/download

DieselNet Technology Guide. (2005). *Diesel Net Technology Guide*.
Obtenido de Filtro CRT: https://www.dieselnets.com/tech/dpf_crt.php

Eastburn. (19 de Febrero de 2019). *Contaminación del aire y visibilidad* .
Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de
<https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/visibility.html&lang=sp>

Egas, C., Naulin, P., & Préndez, M. (12 de Noviembre de 2018).
Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto. Recuperado el 19 de
Enero de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n4/0718-0764-infotec-29-04-00111.pdf>

Enciso Diaz, N., & Rivera Linares, J. (2017). Obtenido de Estudio de
factibilidad para la implementación de filtros de aire acondicionado vehicular para
reducir las concentraciones de agentes tóxico del aire respirado al interior de los
vehiculos en Bogotá:
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7648/1/RiveraLinaresJamesHolman2018.pdf>

EPA. (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matte*.
Recuperado el 20 de Marzo de 2020, de
<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=216546>

EPA. (17 de Enero de 2017). *Fundamentos de la materia particulada (PM)*.
Obtenido de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#effects>

European Haemophilia Consortium. (2018). *EHC P15 – Particle Filter for starting and moving vehicles indoors*. Obtenido de <http://ehcteknik.com/products/ehc-p15/>

FAO. (2 de Abril de 2017). *Árboles, ciclos largos y profundas interrogantes*. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/gmo6.htm>

Ferran, B. (2005). Contaminación atmosférica. *Salud pública*, http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005.

Gakenheimer, R. (1998). Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo. *EURE (Santiago)*, 33-52. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71611998007200002>

Gaviria et al. (2011). Contaminación por material particulado (pm_{2,5} y pm₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 241-250. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12021452003>

Geofilter. (02 de Julio de 2019). *Filtros de aire*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <http://www.geofilter.cl/filtroelectroestatico.html>

Gesfilter. (2018). *Filtros metálicos de Fibra*. Obtenido de <https://www.gesfilter.com/producto/filtros-metalicos-de-fibra/>

Hernández, A., Bohórquez, Á., Pinzón, F., Guzmán, L., & Moreno, Y. (2010). *Informe del estado de la Calidad del Aire*. Bogotá, Colombia: IDEAM. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Interescape. (2 de Diciembre de 2013). *Técnica - Funcionamiento de un filtro de Partículas Diesel -FAP/DPF - ES HD*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=q4GbQgeY4Dw>

Jian, H., Zhaoxiang, Z., Feng, Z., Weihong, X., Ze, X., & Yiqun, F. (2015). Coating of ZnO nanoparticles onto the inner pore channels surface. *Elsevier*, 11.

Jing, L., Danzhen, Z., Tingting, Y., Shen, Y., Xudong, Y., & Hongwei, Z. (2018). Nanofibrous membrane of graphene oxide-in-polyacrylonitrile composite with low filtration resistance for the effective capture of PM_{2.5}. *Elsevier*, 8.

Kenneth, W., & Warner, C. (2013). *Contaminación del Aire*. México D.F, México: Limusa. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Lang, G., Jokish, S., & Sheibelm. (2018). Air Filter Devices Including Nonwoven Meshes of Electrospun Recombinant Spider Silk Proteins. *Scielo*, 1-10.

Liati, A; al et. (2012). Investigation of diesel ash particulate matter: A scanning electron microscope and transmission electron microscope study. *Atmospheric Environment*, 391-402.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.10.035>

Liqtech. (20 de Agosto de 2020). *Filtros de Partículas Diesel*. Recuperado el 13 de Marzo de 2020, de <https://www.liqtech.com/emission-technology/diesel-particulate-filters-dpf/>

Mainwaring, W. S. (2012). *Contaminación del aire causas, efectos y soluciones*. México D.F, México: Trillas. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Martínez, J., Ramirez, A., Varela, F., & Singh, M. (11 de 10 de 2001). *Procedimiento para la fabricación de ceramicas de carburo de silicio a partir de precursores vegetales*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/WO2003031331A1/es?q=carburo+de+silicio+es+cer%C3%A1mica>

McCarroll, J. (1967). Measurements of Morbidity and Mortality Related. *Journal of Air Pollution and Control Association*, 17, 203-209. doi:<https://doi.org/10.1080/00022470.1967.10468968>

Mendelsohn, R., & Orcutt, G. (1979). An empirical analysis of air pollution dose-response curves. *Journal of Environmental Economics and Management*, 6, 85-106. doi:[https://doi.org/10.1016/0095-0696\(79\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0095-0696(79)90022-6)

Mendez, J. F., Belalcázar, L. C., & Betancourt. (2019). Impacto regional de la calidad del aire de la quema de biomasa en el norte de Sudamérica. *Science Direct*, 131-140.

Mendez, J. F., Pinto, L. C., & Belalcázar, L. C. (2018). Study of a Saharan Dust Intrusion into the Colombian Atmosphere. *Scielo*, 17-34.

Méndez, J., Pinto, L., & Belalcázar, L. (2017). Estudio de una Intrusión de Polvo Sahariano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18.

Méndez, J., Pinto, L., Galvis, B., & Pachón, J. (2017). Estimación de Factores de Emisión de Material Particulado Resuspendido Antes, Durante y Después de la Pavimentación de una Vía en Bogotá. *Scielo*, 43-60.

Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.

Montalvo, M. (Julio de 2016). *Esudio de factibilidad deprecipitadores electrostaticos*. Recuperado el 17 de Marzo de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13684/1/UPS-ST002843.pdf>

Montiel, L. (1994). *Organización, Función Y Ecología en Los Seres Vivos. Conceptos Básicos*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Nuevo Siglo. (22 de Diciembre de 2019). *Material particulado es el que más contamina en Bogotá*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/12-2019-material-particulado-es-el-que-mas-contamina-en-bogota>

Objetivos del Desarrollo Sostenible. (2015). *United Nations*. Obtenido de Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

OMS. (2012). IARC: Diesel Engine Exhaust Carcinogenic. *Informe OMS*, 1-4.

OMS. (25 de Marzo de 2014). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>

OMS. (27 de septiemberte de 2016). Obtenido de La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud: <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

OMS. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization. Obtenido de Public health, environmental and social determinants of health (PHE): <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>

OMS. (2 de Mayo de 2018). Obtenido de Información básica sobre la contaminación atmosférica urbana: https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/background_information/es/index2.html

OMS. (2018). *La contaminación del aire*. Obtenido de Contaminacion del corazon y del aire: <http://origin.who.int/airpollution/en/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2018). *Yute*. Recuperado el 05 de 08 de 2018, de <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>

Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Obtenido de Contaminación del Aire Ambiental: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2016). *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de https://read.oecd-ilibrary.org/environment/the-economic-consequences-of-outdoor-air-pollution_9789264257474-en#page1

Ortega Bohórquez, D. (2010). *Noesis*. Obtenido de Tecnologías y medidas de control para disminuir la contaminación atmosférica generada por las emisiones en

plantas Trituradoras y de asfalto:
<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/6913/1/136108.pdf>

Ovando, R. (2010). Los gases efecto invernadero. En contaminación atmosférica por bióxido de carbono emitido por vehículos automotores en la ciudad de Torreón. *Agraria revista científica*, 22-31. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7691/RENE%20OVANDO%20DE%20PAZ.pdf?sequence=1>

Oyarzun, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 16-25. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>

Pardo, C. (2009). *Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3641/S2009308_es.pdf?sequence=1

Pequeño Ledezma, M. Á., Rodríguez, E., Aguirre, O., & Molina, V. (2019). Análisis de las partículas en suspensión depositadas sobre vegetación arbórea en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 09. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n1/2007-0934-remexca-10-01-205.pdf>

Pérez, D. (2017). *Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2019, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5OtwelSaq8IJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6369767.pdf+&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>

Planeación, D. N. (31 de Julio de 2018). *CONPES 3943*. Recuperado el 10 de Junio de 2020, de <http://www.andi.com.co/Uploads/CONPES%203943%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

Rodriguez Acosta, S. M., & García Torres, D. A. (21 de Marzo de 2015). *Salud y Medio Ambiente: estrategias metodológicas para valorar el impacto de los daños ambientales sobre la salud*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/salud/article/viewArticle/5801/8043>

Rodríguez, I., Rojas, N., Estévez, J., & Christian, D. (04 de Diciembre de 2018). *Evaluación toxicológica ocupacional de la exposición a contaminantes del aire*. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de https://books.google.com.co/books?id=1pjGDwAAQBAJ&pg=PT77&dq=tama%C3%B1o+de+pm10&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj7nua0_ffoAhVFxKYKHQI8B0AQ6AEILjAB#v=onepage&q=tama%C3%B1o%20de%20pm10&f=false

Romero Villalobos, O. A., Sarmiento Sanchez, D. K., & Rodriguez Arriero, D. M. (2016). El contaminante PM10 y efectos sobre la salud en la localidad de. *Visión Electronica*, 10.

S&P. (26 de Julio de 2018). *Mejorar la calidad del aire interior con filtros de alta eficiencia HEPA*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/filtros-hepa/>

Sbarato, D., Sbarato, V., & Ortega, J. (2002). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera*. Cordoba, España: Encuentro. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Scovronick, N. (2015). *Reducing global health risks through mitigation of short-lived climate pollutants*. World Health Organization. Obtenido de <https://www.who.int/phe/publications/climate-reducing-health-risks/en/>

Sepúlveda, R., & Ortega, C. (2017). *El Tiempo*. Obtenido de Bogotá y Medellín: las tareas pendientes en la calidad del aire: <https://www.eltiempo.com/bogota/bogota-y-medellin-tareas-pendientes-en-la-calidad-del-aire-448230>

Spedding. (2002). *Contaminación Atmosférica*. Barcelona, España: Reverte. Recuperado el 10 de Octubre de 2018

Springer. (2012). *Proceedings of the National Academy of Sciences*,. Recuperado el 22 de Octubre de 2018, de <https://link.springer.com/journal/40011>

Tapia Granados, J. (1998). La reducción del tráfico de automóviles: una política urgente de promoción de la salud. *Panamericana Salud Publica*, 1-3. Obtenido de http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49891998000300001&lng=pt&nrm=iso

Tejerina, M. (2015). *UF1909 - Toma de muestras de contaminantes atmosféricos*. Barcelona, España: Elearning. Recuperado el 13 de Octubre de 2018

Vasquez, E. (2005). *Materiales cerámicos, propiedades, aplicaciones y elaboración*. (U. N. México, Ed.) Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de https://books.google.com.co/books?id=ar6MRNYWEsUC&pg=PT41&dq=material+ceramico+propiedades&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiumcmr3c_eAhUx0FkKHVNJBEGQ6AEIKDAA#v=onepage&q=material%20ceramico%20propiedades&f=false

World Health Organization . (2018). *Air Pollution Infographics*. Obtenido de <http://www.who.int/airpollution/infographics/en/>

World Health Organization. (2013). *Health effects of particulate matter*. Recuperado el 11 de 11 de 2018, de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

World Health Organization. (6 de Marzo de 2017). *Las consecuencias de la contaminación ambiental: 1,7 millones de defunciones infantiles anuales, según la OMS*. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/detail/06-03-2017-the-cost-of-a-polluted-environment-1-7-million-child-deaths-a-year-says-who>

World Health Organization. (2018). *Ambient (outdoor) air quality and health*. Obtenido de [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

World Health Organization. (2018). *Global Ambient air pollution*. Obtenido de <http://maps.who.int/airpollution/>